

Title	局所無線同報サービスに向けた無線資源空間再利用に関する一検討
Author(s)	門, 洋一; 平石, 邦彦; リム, アズマンオスマン; 丹, 康雄
Citation	電子情報通信学会技術研究報告, 113(38): 293-298
Issue Date	2013-05-09
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11582
Rights	Copyright (C) 2013 The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE). 門 洋一, 平石 邦彦, リムアズマンオスマン, 丹 康雄, 電子情報通信学会技術研究報告, 113(38), 2013, 293-298.
Description	

局所無線同報サービスに向けた無線資源空間再利用に関する一検討

門 洋一[†] 平石 邦彦[†] リムアズマンオスマン[†] 丹 康雄[†]

[†] 北陸先端科学技術大学院大学 〒923-1292 石川県能美市旭台 1-1

E-mail: †{youiti,hira,aolim,ytan}@jaist.ac.jp

あらまし スマートスペースやスマートホームにおいては、各種計測装置等を備えた環境内に分散配置される情報ノードやアクチュエータ等の設備ノードから、近傍にいるユーザの携帯端末等であるユーザノードや、近傍に位置する他の設備ノードに情報が提供される。そうしたサービスは、情報提供側ノードからいったんクラウドとして表現される従来のネットワーク上のサーバを介して情報利用側ノードに提供される場合と、クラウドを経由しないで情報提供側ノードと情報利用側ノード間で局所的に交わされる通信により提供される場合とに分けられる。本稿では後者のうち、情報提供側ノードが局所的な無線同報を利用する場合の無線資源空間再利用に関する検討を行う。

キーワード 同報, ワイヤレスセンサネットワーク, 無線資源

A Study on Spatial Reuse in Wireless Local Broadcasting Services

Youiti KADO[†], Kunihiko HIRAIISHI[†], Azman OSMAN LIM[†], and Yasuo TAN[†]

[†] School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

1-1, Asahidai, Nomi-shi, Ishikawa, 923-1292 Japan

E-mail: †{youiti,hira,aolim,ytan}@jaist.ac.jp

Abstract Installation nodes such as information nodes or actuators equipped with sorts of sensors are dispersed in the smart space or in the smart home and are providing information to mobile user nodes nearby or other adjacent installation nodes. The delivery of information can be achieved via the cloud or the server on the conventional network, or be achieved only by the local transmission between the information providing nodes and the information receiving nodes. This paper examine the spatial reuse of radio resources when the information providing nodes perform local wireless broadcasting, which can constitute the latter information delivery model.

Key words broadcasting, wireless sensor network, radio resource

1. ま え が き

スマートスペースやスマートホームを構成する上で、温湿度計・照度計・人感センサ・カメラ等の各種計測装置を備えた情報ノードや空調・照明・電光掲示・音響音声案内等のアクチュエータが特定地域や住宅等の環境内に多数配置される。通信機能を備えたそれら情報ノードやアクチュエータを、ここでは総称して、設備ノード、と呼ぶ。計測データは、必要に応じて環境情報として加工され、同環境内の設備ノードや、ユーザが利用する固定ないしは携帯移動端末であるユーザノードに向けて発信される。アクチュエータは、自身の計測データや受信した近傍の環境情報に基づいて自律制御により動作すると同時に、近傍のユーザの意図・振る舞い等に基づいてユーザが各種設定・操作する端末から発信される信号等に基づいて制御される。かような情報ノードから発信されるデータやアクチュエータの動作により多様なサービスが提供されることが期待されている。

近年、モノのインターネット (IoT : Internet of Things) 等、クラウドを利用する技術として展望されている構成においては、設備ノード、ユーザノードそれぞれが、シンクノード、無線 LAN 基地局、携帯電話基地局等のゲートウェイを経由してインターネットと繋がっている (図 1)。インターネット上のサーバが、ゲートウェイを通して上げられる情報に基づいて、期待される提供可能なサービスを推定し、その実行のための設備ノードの具える機能の動作やユーザノードのアプリケーションの動作を組み合わせを算出し、それらを実施するための制御メッセージを再びゲートウェイを通じて該当するノードに配信しようとする。

しかし、設備ノードとユーザノードが近接している状況においては、かならずしも両者がそれぞれのゲートウェイを通じてインターネットに繋がる必要はなく、局所的な通信でいったん情報をいずれかのノードに集約し、その集約したノードがぶら下がるゲートウェイを通じてクラウドのサーバと情報のやり取

りとしても良い(図2). さらには, サービスを組み立てるエンジンを局所的に具えるなり事前にクラウドからダウンロードしておくことで, クラウドに常時接続することなしにサービスを展開することも可能である.

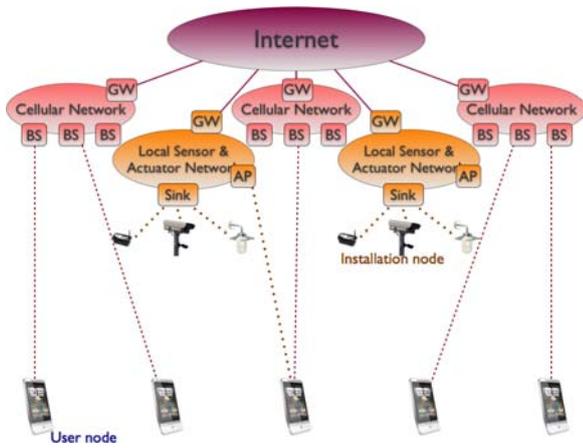


図1 クラウドにより媒介される情報伝播
Fig. 1 Cloud-mediated information propagation

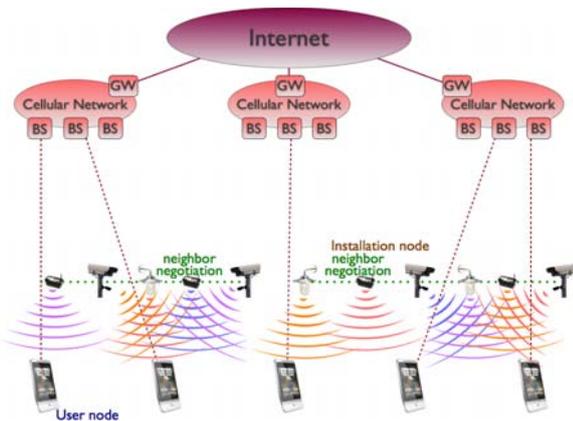


図2 局所的な情報伝播
Fig. 2 Local information propagation

上述の観点から, 本報告では, 情報やサービスを提供する設備ノードが無線同報等の局所的な通信を利用して, ユーザノードとのインタラクションや設備ノード間連携により, ユーザノード上のアプリケーションや環境内のアクチュエータを動作させてサービスを提供するモデルを想定し, 広がりのある空間内の各所で局所的な無線同報が行われる場合の無線資源空間再利用について検討する.

2. 局所無線同報サービスのモデル

本節では, 一定範囲にサービスを提供することができる設備ノードが多数配置されて, 広い領域にわたってサービスを提供するモデルについて述べる.

まず, サービスを提供する範囲が直線的である場合について考える. 100 m の街路を想定し, 街路に沿ってカメラを設置するものとする. カメラが撮影する街路の有効範囲は, カメラの撮影方向に対してカメラ位置から 10 m までとする.



図3 カメラの撮影範囲
Fig. 3 Camera shooting range

2.1 電磁波伝播と受信条件

カメラは撮影画像データを同報により発信し, カメラの近傍に位置するユーザノードがその同報を受信するものとする. 電磁波伝播モデルは, 自由空間モデルとする.

カメラから撮影画像データを受信できる条件を, 自然ノイズも含めた全ノイズに対してカメラからの無線同報の受信強度が 10 dB 取れたときとする. そこで, 自然ノイズ N の受信強度 P_{r_n} を -70 dBm とし, カメラから撮影方向に 50 m 地点でカメラからの無線受信強度を -60 dBm とすると, 自然ノイズだけが所望波に対するノイズとなっている場合には, その 50 m 地点で無線同報を受信できることになる. 一方, 撮影とは逆方向には 25 m 地点での無線受信強度も同じく -60 dBm とし, 撮影方向の半分の距離をカメラからの撮影画像データの受信の限界となるように与える(図4を参照). また, $1[mW] = 0[dBm]$, $10^{-6}[mW] = -60[dBm]$ である.

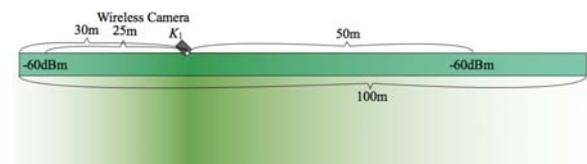


図4 カメラからの無線同報の伝播範囲
Fig. 4 Camera broadcasting range

自由空間モデルは, 送信信号電力を P_t , 送信アンテナ利得を G_t , 受信アンテナ利得を G_r , 波長を λ , システムロス L とすると, 送受信間の距離が d のときの受信信号電力 $P_r(d)$ は, 次式で表される.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

この式を用いて, カメラの撮影方向の送信アンテナ利得を G_{t_f} とすると, その撮影方向に伝播する無線同報の受信電力 $P_{r_{t_f}}(d)$ は, $d = 50$ で,

$$P_{r_{t_f}}(50) = \frac{P_t G_{t_f} G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 50^2 L} [mW] = 10^{-6} [mW] = -60 [dBm]$$

すなわち, 10 m 離れての受信信号強度は,

$$\begin{aligned} P_{r_{t_f}}(1) &= \frac{P_t G_{t_f} G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 10^2 L} [mW] = 2.5 \cdot 10^{-3} [mW] \\ &= -26.0 [dBm] \end{aligned}$$

と距離の二乗に反比例した受信強度になり,

$$\begin{aligned} P_{r_{t_f}}(d) &= 2.5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{d^2} [mW] \\ &= -26.0 - 20 \log_{10} d [dBm] \end{aligned} \quad (2)$$

と計算される。

同様に、カメラの撮影とは逆方向の送信アンテナ利得を G_{t_b} とすると、その撮影と逆方向に伝播する無線の受信電力 $P_{r_{t_b}}(d)$ は、

$$P_{r_{t_b}}(d) = 6.25 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{d^2} [mW] \\ = -32.0 - 20 \log_{10} d [dBm] \quad (3)$$

と計算される。

2.2 サービス被覆

カメラが撮影する有効範囲を 10 m なので、 10 m を超えたより広い範囲でサービスを提供するためには、複数のカメラを配置することになる。例えば先ほど想定した 100 m 全域にわたってサービスを提供しようとする場合、 10 台のカメラを 10 m 間隔で設置することになる (図 5 を参照)。

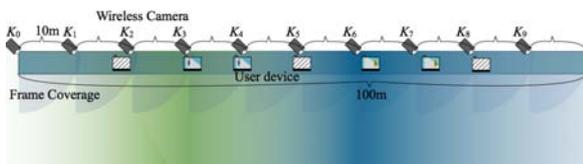


図 5 カメラ 10 台の配置

Fig. 5 Linear arrangement of 10 Cameras

その 10 台のカメラが 1 単位の無線資源を同時に利用して無線同報を行う場合、それぞれが発する無線搬送波は互いに干渉波として作用する。図 6 は、カメラ 10 台が同時に同報を行う際に街路上で受信利得がどのように分布するかを計算したグラフである。 10 台のカメラはそれぞれ横軸の 0 m から 10 m 間隔で右向きを撮影方向として配置されているものとしている。横軸は図 5 の街路に対応しており、縦軸は自然ノイズ、干渉波の和に対する所望波の比である受信の利得を表している。グラフ中の水平な点線はカメラからのデータの受信の条件とした 10 dB の値を示すものであり、この点線より上となる位置で撮影データはユーザ端末により受信されるとみなせる。

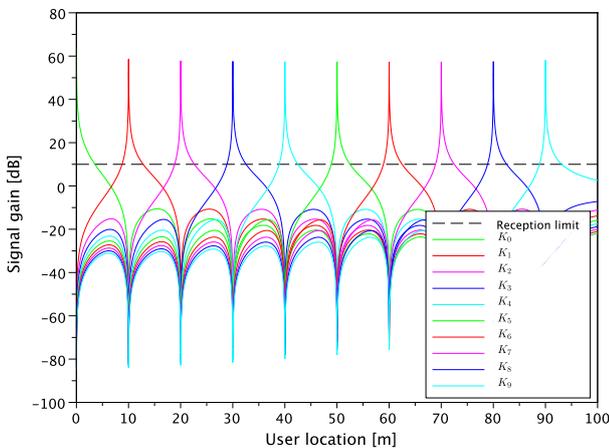


図 6 1 単位の無線資源使用でカメラ 10 台同時同報時の受信利得
Fig. 6 Signal gain under 10 cams' simultaneous broadcasting

各カメラの受信利得でカメラの設置位置から撮影方向に対して 10 dB を超える領域は、左から、 3.57 m , 2.82 m , 2.64 m , 2.56 m , 2.52 m , 2.50 m , 2.50 m , 2.51 m , 2.56 m , 3.13 m となっており、延べの有効受信領域は 27.31 m となっているが、図 6 グラフを見ても分かる通り、単独の領域で有効撮影範囲の 10 m に達するものはない。

もし隈無くサービスを提供しようとするならば、全てのカメラが同じ無線資源を同時に利用するのではなく、カメラそれぞれの同報が自身の撮影範囲全部で受信可能となるように複数の無線資源を利用する必要があることが分かる。無線資源を同時に利用するカメラそれぞれにおいて撮影範囲全部が受信可能となるカメラの組み合わせを全て調べると、組み合わせることのできるカメラの数は 3 台以下になる。カメラ 3 台のときの組み合わせを全て挙げると、

$$[0,30,70], [0,30,80], [0,30,90], [0,40,80], [0,40,90], \\ [0,50,80], [0,50,90], [0,60,90], \\ [10,40,80], [10,40,90], [10,50,90], [10,60,90], \\ [20,50,90],$$

となる。この組み合わせを 3 つ使って、 3 単位の無線資源で、

$$[[0,30,70], [10,40,80], [20,50,90]]$$

と組み合わせると、 90 m でのサービスが提供される。ここに無線資源を 1 単位加えて、

$$[[0,30,70], [10,40,80], [20,50,90], [60]],$$

の組み合わせで 4 単位の無線資源を使用するとき、 1 単位毎に同時に無線資源を利用する各カメラの撮影画像データは撮影範囲全部で受信が可能となり、 4 単位にわたって無線資源を利用することで 10 台のカメラ全てにおいて撮影データは撮影範囲全部に行きわたる。このときの受信利得を計算した結果のグラフは図 7 である。このグラフでは、どの組み合わせのどのカメラにおいても、撮影方向に 10 dB を上回る利得が得られる領域が 10 m を超えており、 100 m 全域でのサービス提供が実現することが分かる。

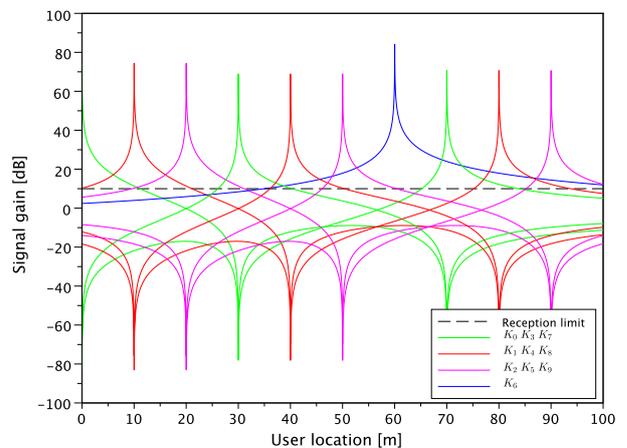


図 7 4 単位の無線資源利用時の受信利得
Fig. 7 Signal gain using 4 slots of radio resources

2.3 全被覆のための組み合わせ探索

サービスを提供する範囲が、1つの直線区域だけでなく、2つの直線区域が直交している場合についても同様に全域でのサービス提供を実現する組み合わせを見つけることができる。また、1ノードで複数のカメラを具えてノードの周囲の撮影画像を無指向性の搬送波で同報することで、ノード当たりの撮影画像の提供範囲を拡げて、必要となるノード数を削減したり、同じ位置で2つ以上の方向からの撮影画像を受信できるようにすることを考える。その上で、サービスを提供する区域を、ここまで述べた100mの直線1区域だけでなく、100mの直線2区域を中央で直交させて繋げた区域と、対角の長さが100mとなる方形の区域について最小の無線資源単位数でサービス被覆するための組み合わせについて探索する。

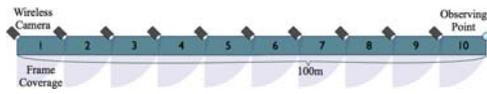


図8 単方向カメラ：100m直線1区域

Fig.8 Uni-directional camera : 100 m 1-straight zone

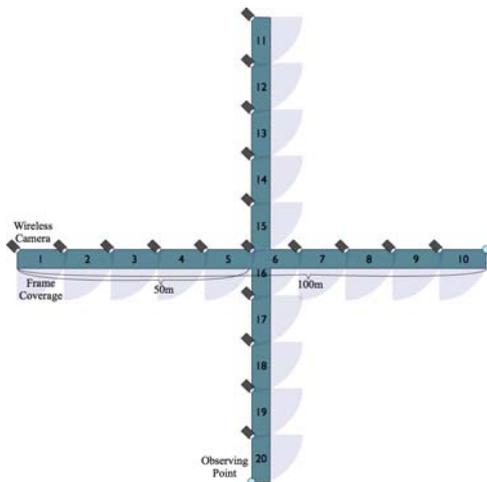


図9 単方向カメラ：中央直交100m直線2区域

Fig.9 Uni-directional camera : 100 m 2-straight crossing zone

区域が小さくノード数が少ない場合には、同時に撮影範囲全部に撮影画像を同報配信できる組み合わせ数も少なく、また区域全体をサービスで全被覆するために必要な無線資源単位数も区域内ノード数で上限が決まっており、さらには撮影範囲全部に同時に同報できるカメラの組み合わせをさらに重複なく組み合わせることで所要無線資源単位数は減少する。ノード数が全探索のできる程度に収まっていれば、最適解を見つけ出すことは容易である。

ここでの全被覆のための組み合わせ探索の探索空間のサイズは、解くべき区域内のノード数に対して指数関数的であるため、全探索により最適解を見つけ出すことは困難である。

組み合わせ問題の設定時の探索では同じカメラから発せられる同報信号は受信位置毎にサービスを区別しているが、探索空間が大きくなって計算量が増大する場合には、探索空間を限定

表1 区域形状別サービス全被覆のための組み合わせ探索

Table 1 Combinatorial optimization in service full coverage for differently shaped area.

区域	カメラ	撮影	撮影範囲全部への同時同報	所要数
1直線 (図8)	単方向 10台	片方向	3 cams : 13 通り 2 cams : 8 通り	4 単位
直交 2直線 (図9)	単方向 19台	片方向	5 cams : 12 通り 4 cams : 239 通り 3 cams : 62 通り	6 単位
1直線 (図10)	全方向 5台	片方向	4 areas : 3 通り 2 areas : 4 通り	3 単位
直交 2直線 (図11)	全方向 9台	片方向	6 areas : 4 通り 5 areas : 4 通り 4 areas : 26 通り 3 areas : 4 通り 2 areas : 4 通り	5 単位
1直線 (図12)	全方向 11台	双方向	4 areas : 11 通り 3 areas : 8 通り 2 areas : 11 通り	5 単位
直交 2直線 (図13)	全方向 21台	双方向	5 areas : 12 通り 4 areas : 239 通り 3 areas : 62 通り	10 単位
方形 (図14)	全方向 25台	片方向	3 cams = 12 areas	13 単位
方形 (図15)	全方向 61台	双方向	4 cams = 6 areas 3 cams = 12 areas	29 単位

して探索空間を圧縮する。ここでは、2通りの方法でそれぞれに探索空間を圧縮する。

一つ目は、無線資源単位を追加して組み合わせの探索空間が広がる際に、全ての有効な同時同報の組み合わせを掛け合わせるのではなく、それまでに組み合わせたもののうち延べ有効サービス被覆が大きいものを同土をされに組み合わせで完全被覆を目指す方法である。最初の図8の区域から5つ目の図12までの区域では、このやり方により高速に最適解を得た。2番目の区域を除くと5つ目までは全探索により解となる組み合わせ全てが得られている。

二つ目は、カメラが同報信号を出す際に、当該カメラにより提供される全方向の撮影範囲のそのまた全部に撮影データが行きわたるときだけを組み合わせに限定して採用する。それにより検証される組み合わせ数が抑制される。6つ目の図13以降の区域では、この方法により解を得た。

上記探索により得られた有効な同時同報数やサービス全被覆に必要な無線資源単位数の結果を表1に示す。ここでの結果から傾向として理解されることは、この規模の区域においてはカメラの台数の半数程度の無線資源単位でサービスの全被覆が達成されることである。

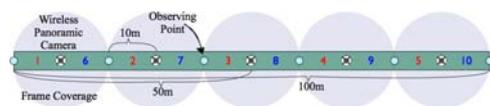


図10 全方向カメラ：100m直線1区域

Fig.10 Omni-directional camera : 100 m 1-straight zone

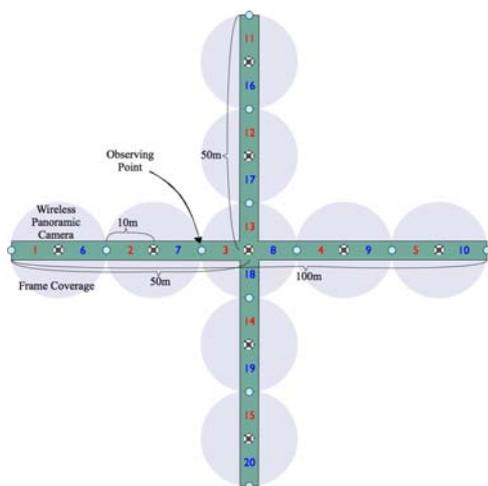


図 11 全方向カメラ：中央直交 100 m 直線 2 区域

Fig. 11 Omni-directional camera : 100 m 2-straight crossing zone

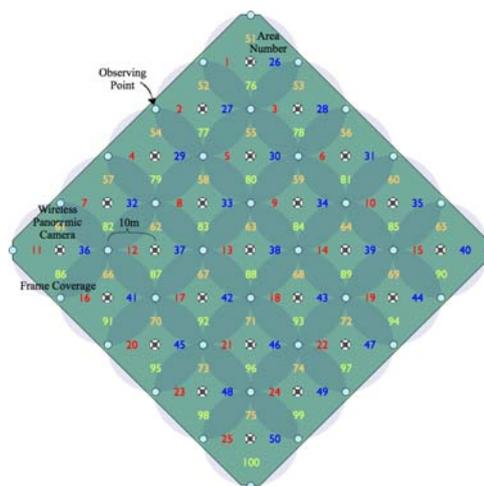


図 14 全方向カメラ：対角 100 m 方形区域

Fig. 14 Omni-directional camera : square of 100 m diagonal

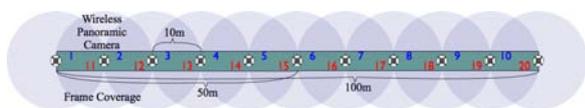


図 12 全方向カメラ：100 m 直線 1 区域：撮影方向二重化

Fig. 12 Omni-directional camera : 100 m 1-straight zone : dual scope

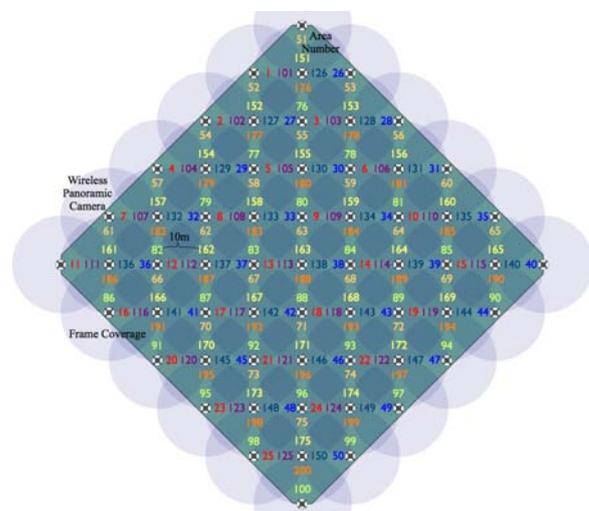


図 15 全方向カメラ：対角 100 m 方形区域：撮影方向二重化

Fig. 15 Omni-directional camera : square of 100 m diagonal : dual scope

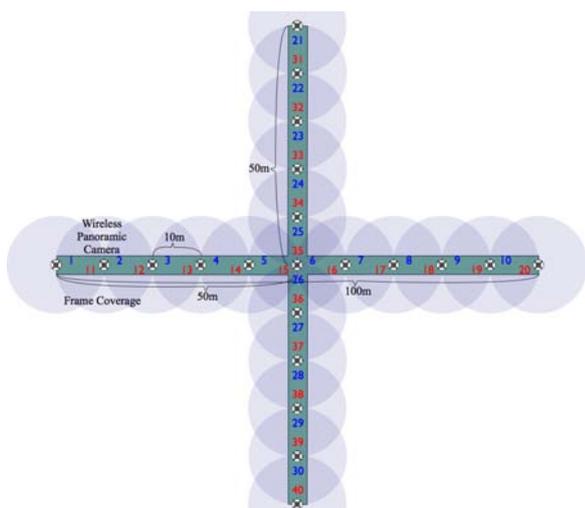


図 13 全方向カメラ：中央直交 100 m 直線 2 区域：撮影方向二重化
Fig. 13 Omni-directional camera : 100 m 2-straight crossing zone : dual scope

3. 連続する領域での無線資源空間再利用

本節では、比較的小さく区切られた区域ではなく、連続して繋がるっている、ないしは広がりを持つ領域の場合には無線資源を空間再利用でき、同時に同報できるための条件はどのようなかについて検討する。

前節でのサービス全被覆で検討した区域に対応して、1 直線、直交点から延びる 2 直線、連続して広がる方形の領域、および同六角形の領域について調べる。表 2 に示すのは、6 種類の連続したノード配置領域パターンについて、10 dB 付近の受信利

得が取れる同時空間再利用間隔を算出した結果である。計算上、無限個のノードは設定できないので、ここでは約 1,000,000 個前後のノードが同時に搬送波を出すものとして計算を行っている。

直線では、70 m 以上で繰り返し無線資源を利用可能であるが、2 直線が交わる場合、その交点ではそれよりも長い間隔が空かないと無線資源の再利用はできないことが分かる。また、面的な広がってノードが配置されている場合、方形と六角形であったり、配置の違いで若干の値の違いはあるが、無線資源の空間再利用できるためには、概ね 250 m 程度のパターンの間隔が必要となることが分かる。この結果から言えることは、無線が遮られることなく距離の二乗に反比例して減衰することだけを前提にするならば、平面に広く設備ノードを配置する場合、方形であれば、250 m 間隔であれば、625 台に 1 台程度しか同時に無線資源を利用できないということになる。

実際の環境においては、それ以外に無線が減衰したり、あるいは逆に反射等で減衰が緩やかになったりする場合もあり、搬

表 2 領域形状別同報空間再利用間隔および受信利得

Table 2 Reusable interval and reception gain for differently patterned continuous area.

領域	カメラ	撮影	同報空間再利用間隔：受信利得
1 直線 (図 16)	全方向 5 台	双方向	60 m : $SNR < 9.95$ 70 m : $SNR > 13$
直交 2 直線 (図 17)	全方向 5 台	双方向	80 m : $SNR < 9.3$ 90 m : $SNR > 11.6$
方形 (図 18 左)	全方向 25 台	片方向	240 m : $SNR < 9.75$ 250 m : $SNR > 10.53$
方形 (図 18 右)	全方向 61 台	双方向	240.4 m : $SNR < 9.78$ 254.6 m : $SNR > 10.91$
六角形 (図 19 左)	全方向 25 台	片方向	242.5 m : $SNR < 9$ 259.8 m : $SNR > 10.03$ 277.1 m : $SNR > 11$
六角形 (図 19 右)	全方向 61 台	双方向	250 m : $SNR < 9.33$ 260 m : $SNR > 10.05$ 270 m : $SNR > 10.80$

送波計測や他の計測手段、ないしは近傍のノード同士での無線資源情報の交換により状況に合わせた多重化を行うことで、効率的な空間再利用を図る必要があると考えられる。

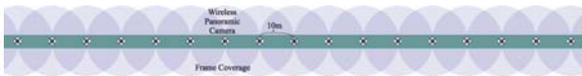


図 16 全方向カメラ：1 直線連続領域

Fig. 16 Omni-directional camera : 1-straight line : dual scope

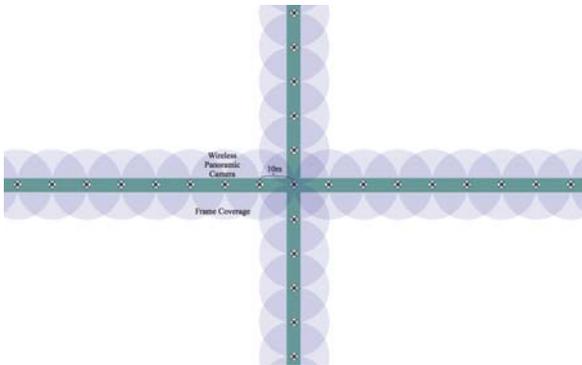


図 17 全方向カメラ：直交 2 直線連続領域

Fig. 17 Omni-directional camera : 2-straight crossing line : dual scope

4. まとめ

本報告では、情報やサービスを提供する設備ノードが無線同報等の局所的な通信を利用して、ユーザノードとのインタラクションや設備ノード間連携により、ユーザノード上のアプリケーションや環境内のアクチュエータを動作させてサービスを提供するモデルを想定し、初めに 100 m 程度の幅、あるいは奥行きのある区域におけるサービス全被覆に必要な無線資源の単位数の見積もりを行い、続いて、広がりのある空間内に連続して設備ノードが配置される場合に、いくつかのパターンを設定し

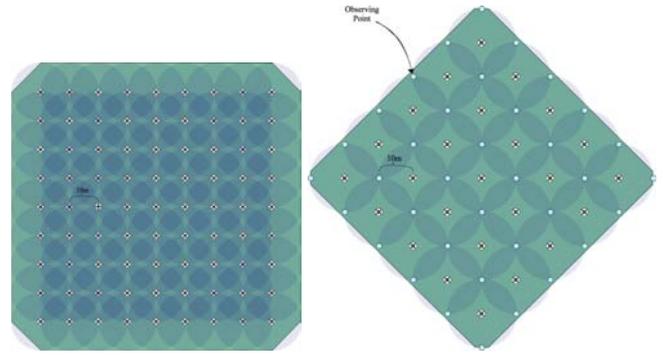


図 18 全方向カメラ：方形連続領域

Fig. 18 Omni-directional camera : square

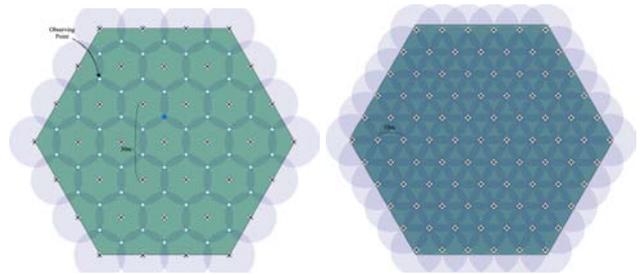


図 19 全方向カメラ：六角形連続領域

Fig. 19 Omni-directional camera : hexagon

て空間再利用可能な間隔についての計算結果を示すことで、局所無線同報サービスの見通しについて検討を行った。